

発表No.A3-10

舶用水素エンジン及びMHFSの開発 (GI基金事業／次世代船舶の開発/水素燃料船の開発)

発表者名	東田正憲※1、濱岡俊次※2、江戸浩二※3
団体名	川崎重工業株式会社※1 ヤンマーパワーテクノロジー株式会社※2 株式会社ジャパンエンジンコーポレーション※3
発表日	2025/7/17

連絡先：
川崎重工業株式会社
レシプロエンジン技術部
(078-682-5296)

事業概要

1. 期間

開始 : 2 0 2 1 年 1 0 月
終了（予定） : 2 0 3 1 年 3 月

2. 最終目標

舶用水素エンジン、燃料タンク及び燃料供給システム(MHFS ; Marine Hydrogen Fuel System)を開発し、2030 年度までに水素燃料船の実証運航を完了する。

3.成果・進捗概要

企業名	製品	進捗概要
KHI 川崎重工業株式会社	推進用中速 4ストロークエンジン	陸上試験用の3社共通水素供給設備を建造し試運転を実施。 陸上試験用の多気筒エンジンを製造し、陸上試験を開始。
	水素燃料タンク 燃料供給システム	YPTエンジン向けの小型MHFSの生産設計を概ね完了し製造着手。 J-ENGエンジン向けの大型MHFSの詳細設計を進捗中。
YPT ヤンマーパワーテクノロジー株式会社	補機用中高速 4ストロークエンジン	水素混焼/DF燃焼制御技術確立し、安全対策・水素脆化対策を織り込んだ工場実証機(中速DFエンジン)を仕立て、運転を開始。
J-ENG 株式会社ジャパンエンジン コーポレーション	推進用低速 2ストロークエンジン	水素噴射系のベンチテストを完了。2026年度のフルスケールエンジンの陸上運転完了に向けてエンジン製造に着手。 2028年度以降で開始予定の実船実証に向けた取り組みも推進中。

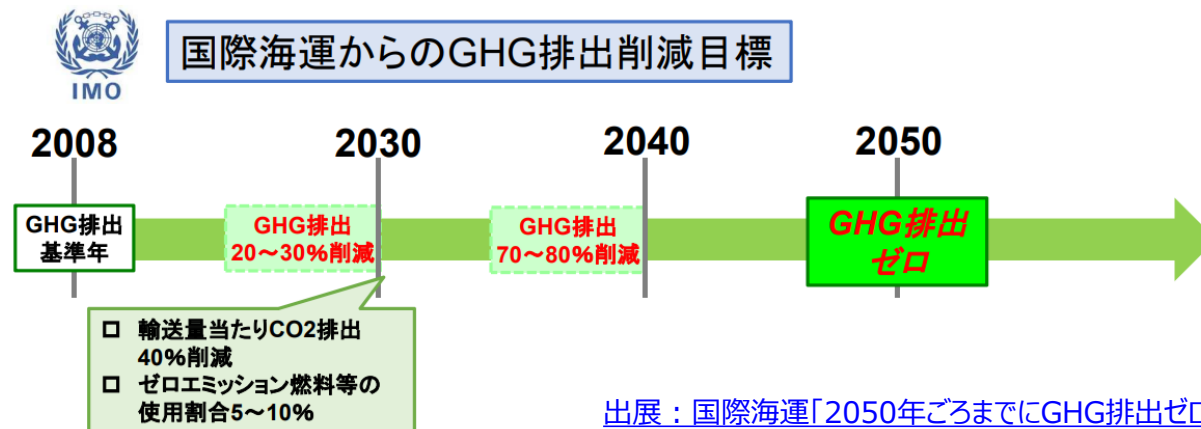
1. 事業の位置付け・必要性

開発背景

パリ協定発効以降、低炭素社会から脱炭素社会に意識が変化しており、エネルギー・海運分野において脱炭素化が求められている。

日本国においては、CO₂削減目標として2030年までに2013年比で46%、2050年までにカーボンニュートラル実現を掲げている。

国際海運においては、2023年7月に開催されたIMO MEPC 80にて「2023 IMO GHG削減戦略」が採択され、**GHG削減目標が前倒し**された。“2030年までにGHG排出を20～30%削減、2040年までにGHG排出を70～80%削減(2008年比)、**2050年ごろまでにGHG排出ゼロ**を目指す”ことが国際合意されている。



出展：国際海運「2050年ごろまでにGHG排出ゼロ」目標に合意 ……国土交通省Press Release

国内外におけるこれらの情勢を受け、海運業界の脱炭素化に向けて脱炭素燃料である水素を燃料とする **舶用水素エンジンの市場が急速に拡大**することが期待され、それに伴い船上で安定且つ安全に**水素燃料ガス**を供給する設備が必要とされる。

1. 事業の位置付け・必要性

現状の課題とコンソーシアム構築の背景

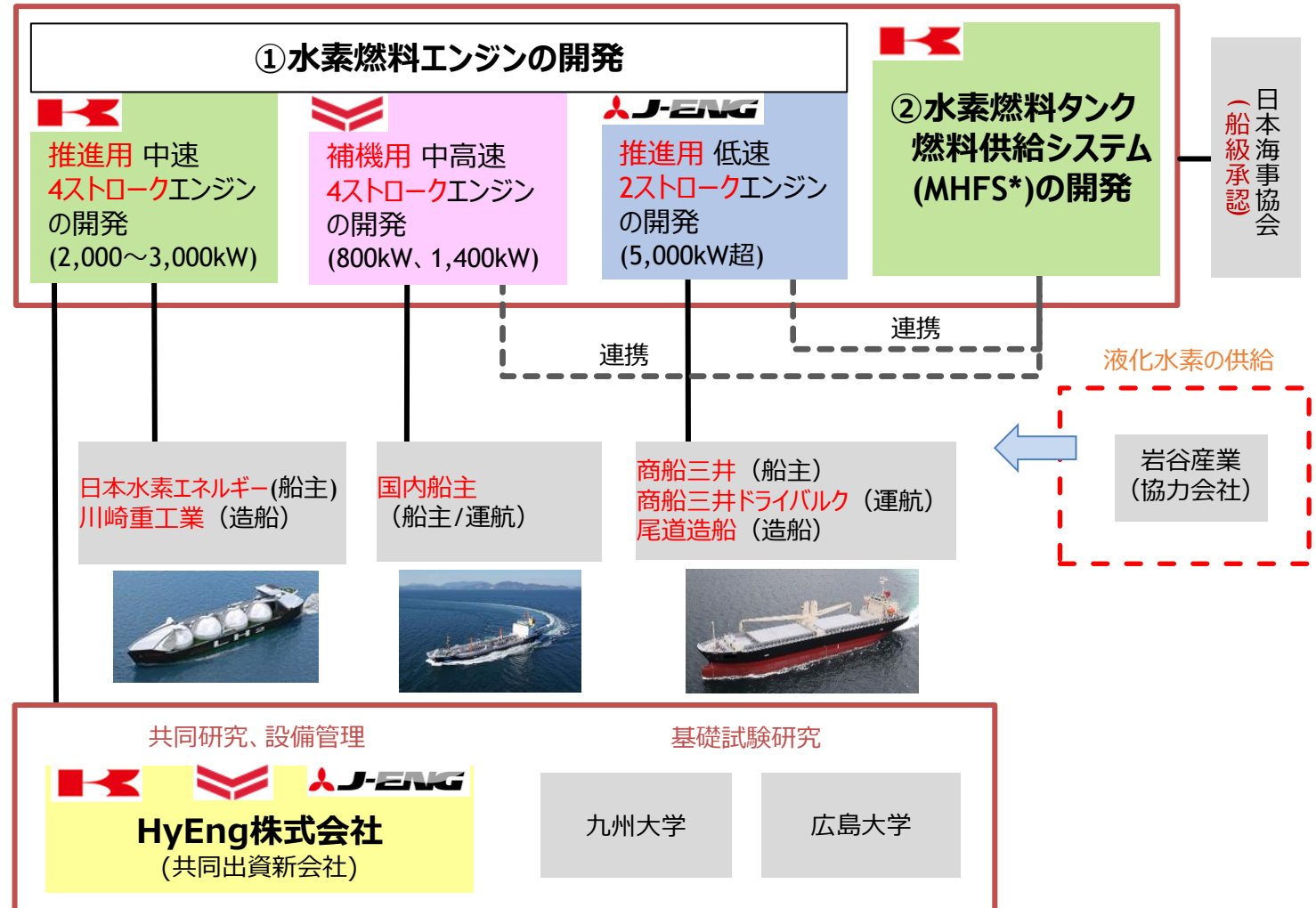
- ・2050年のカーボンニュートラルを達成する為に、GHG排出を大幅に削減可能な燃料転換が不可欠
- ・カーボンフリー燃料として水素燃料が有望視
- ・外航・内航大型船向け水素燃料エンジンは不在



共通課題を共同で効率良く解決し、
純国産エンジンメーカーコンソーシアムによる
世界に先駆けた水素燃料エンジンの開発

共通課題例：水素脆化
水素間欠燃焼
水素燃料供給システム
水素燃料 国際ルール対応 等

研究開発体制図



*MHFS (Marine Hydrogen Fuel System) : 舶用水素燃料タンク及び燃料供給システム

1. 事業の位置付け・必要性



推進用中速 4 ストロークエンジン
水素燃料タンク・燃料供給システム



補機用中高速 4 ストロークエンジン



推進用低速 2 ストロークエンジン



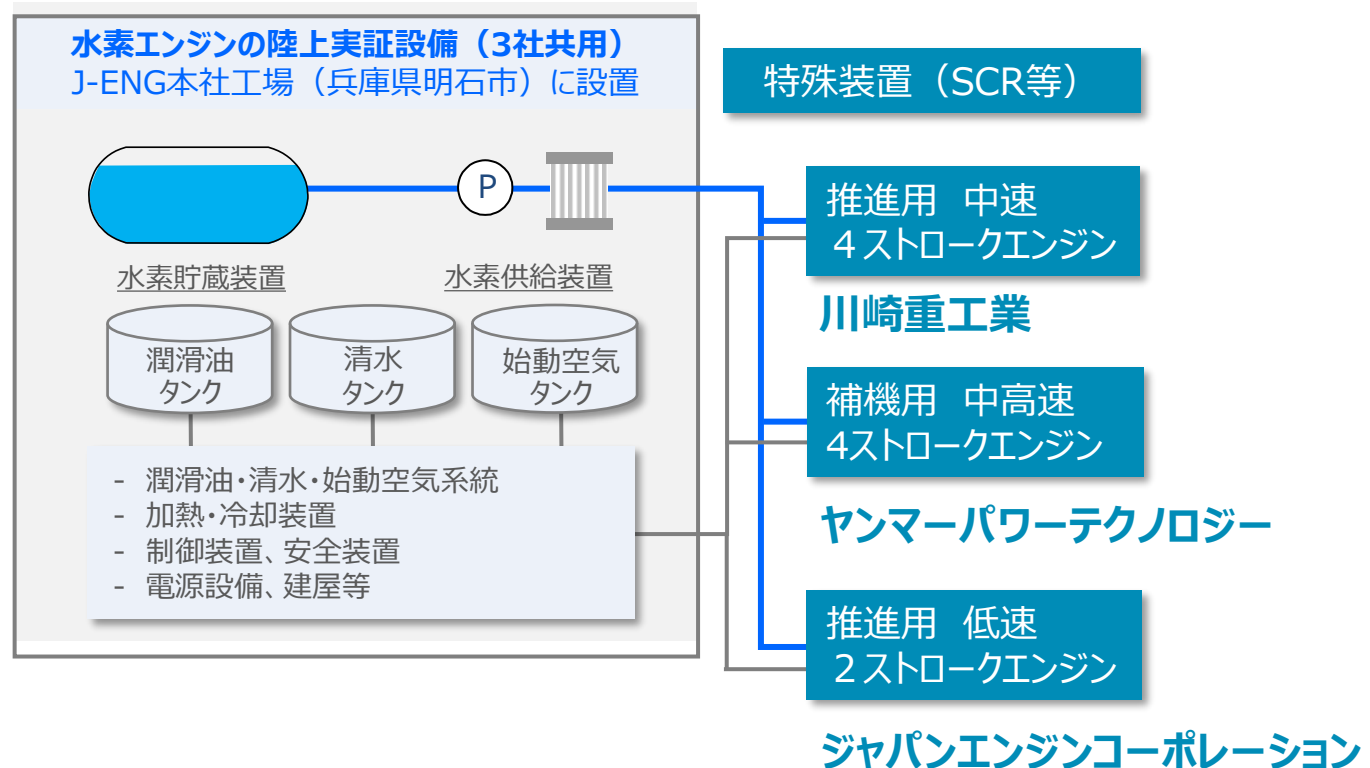
コンソーシアムによる取組内容

- ① 船用エンジンマーケットのボリュームゾーンとなる出力0.5MW～15MWをカバーする水素燃料エンジンをコンソーシアムにて同時並行開発
- ② 水素燃料供給システムも含めたインテグレーション提供
- ③ 水素燃料エンジン搭載を実現する国際ルール作り
- ④ 普及のための標準化戦略立案と共同実行



水素エンジン開発のセンター会社的な役割を担うべく、3社が共同出資する“HyEng株式会社”を設立済み。

下記、陸上実証設備の運営管理も実施する。

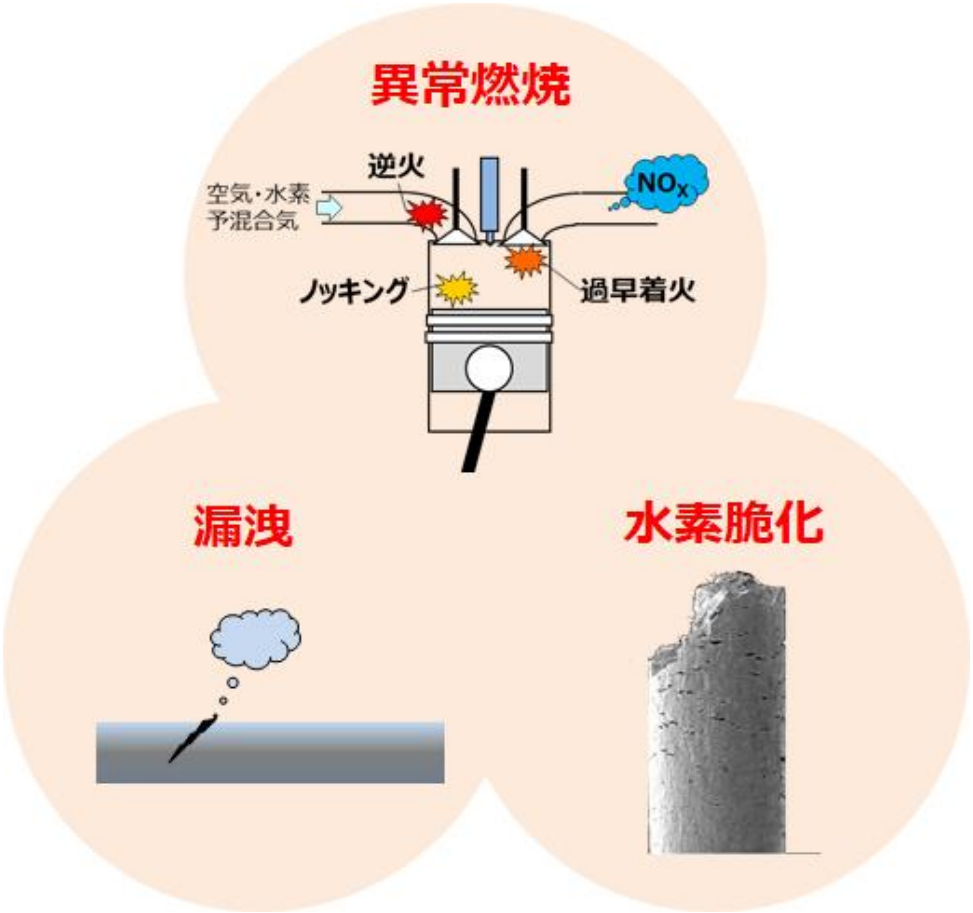


1. 事業の位置付け・必要性

物性から見た水素燃料エンジンの基本的課題

【コンソーシアム共通】

		メタンCH ₄	水素 H ₂	課題
分子量		16	2	分子量が小さく 漏洩し易い
低位発熱量	MJ/Nm ³	35.8	10.8	発熱量が小さく 容量や流量が大きくなる
可燃範囲	vol%	5～15	4～75	可燃範囲が広く、 最小着火エネルギーが小さく、 燃焼速度が速いため、 異常燃焼し易い
最小着火エネルギー	mJ	0.28	0.02	
層流燃焼速度	cm/sec	37～38	270～290	
液化温度	℃ (大気圧)	-162	-253	液化温度が低く 貯蔵が難しい
脆化について		-	水素脆化	水素脆化した場合 材料強度が低下



2. 研究開発マネジメントについて

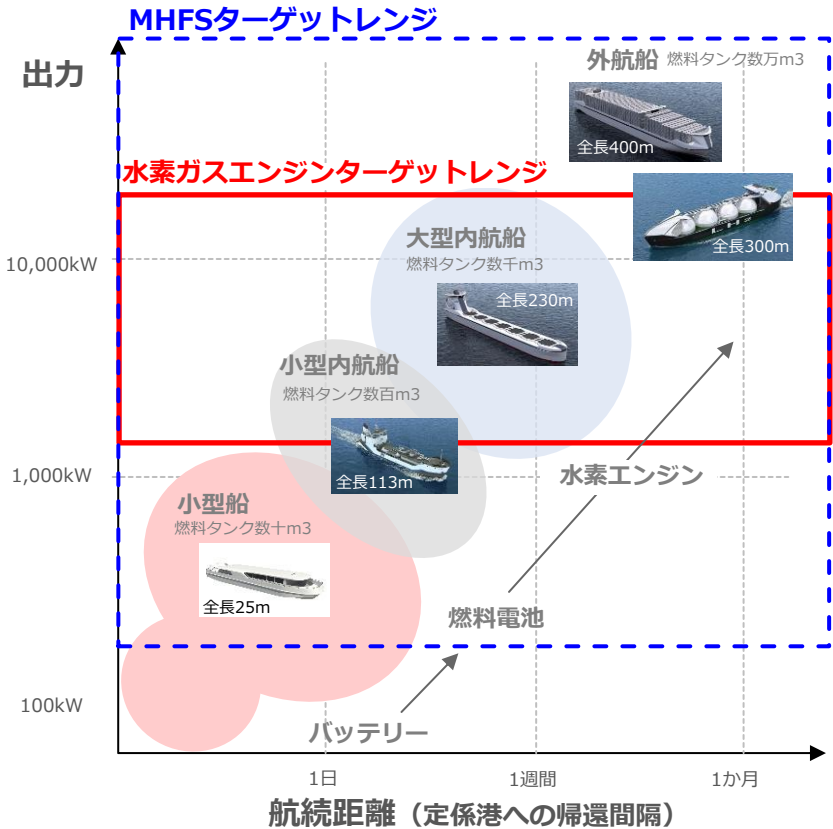
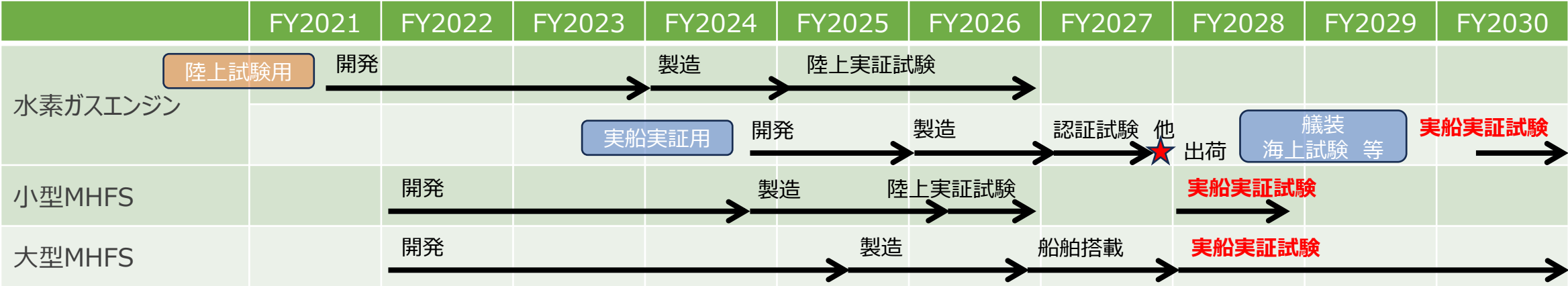
【開発ターゲット】

- エンジン : 単機出力で2～8MWであり、複数台搭載で30MW程度までをターゲットレンジとする。
- MHFS : 液水燃料を使用するすべてのレンジ
(燃料タンク：数十～数万m³) に対応することを目指す。

【開発目標】

- エンジン : 平均有効圧力 ≥ 1600 kPa、水素混焼率 $\geq 95\%$
- MHFS : 小型MHFSは、40ftコンテナパッケージに収める
大型MHFSは、大型直噴(高圧)水素ガスエンジンに適応する
- 共通 : 陸上実証試験、実船実証試験の完了
上記試験の完了をもって上市移行見込みを得る

【開発スケジュール】



3. 研究開発成果について

【陸上水素供給設備】

- ✓ 2024/12月に兵庫県庁殿の使用許可を取得
- ✓ 2025/1月に液水による試運転を実施

設備の全体図



液水タンク



試運転中の液水ポンプ



【水素ガスエンジン】

開発エンジンの特徴

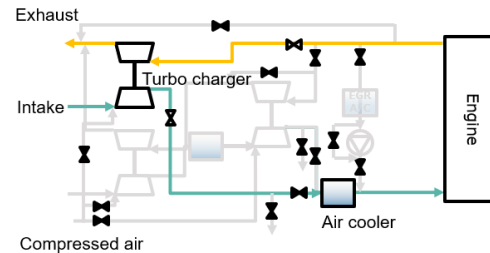
- ✓ 水素混焼率95%以上のデュアルフューエルエンジン
- ✓ 同クラスのエンジンサイズにおいて高いBMEPを実現
- ✓ 予混合方式採用による低い水素供給圧力
- ✓ **水素の急峻な燃焼に対応するため、EGR(排気再循環)を適用**



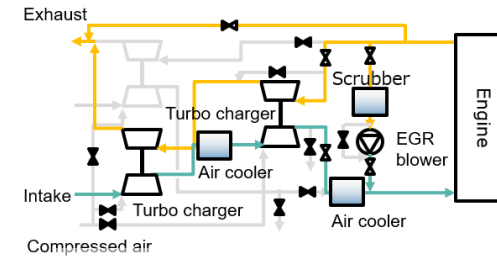
エンジン外観

EGRシステム(高圧EGR)

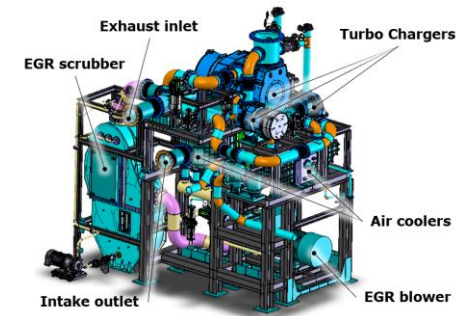
- ✓ 高い過給機効率を維持するため3台の過給機を搭載



燃料油運転時の給排気系統



水素運転時の給排気系統



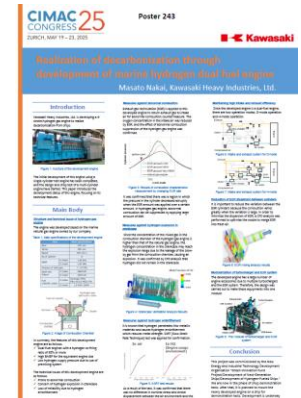
過給機・EGRモジュール

実施状況

- ✓ 2024/7月に陸上実証用の多気筒エンジンが完成。
- ✓ J-ENG本社工場に試運転設備を建造し、陸上試験を開始。

対外発表

- ✓ CIMAC Congless 2025にて論文投稿およびポスター発表を実施。

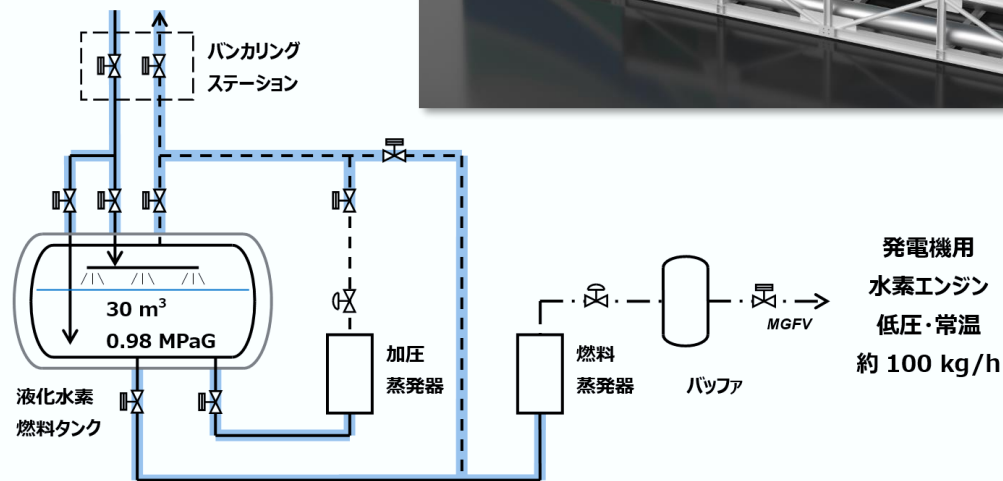


3. 研究開発成果について

【小型MHFS】

YPTが開発する中・高速 4 ストローク水素エンジン用の低圧MHFS。
生産設計が概ね完了し、製造に着手した。

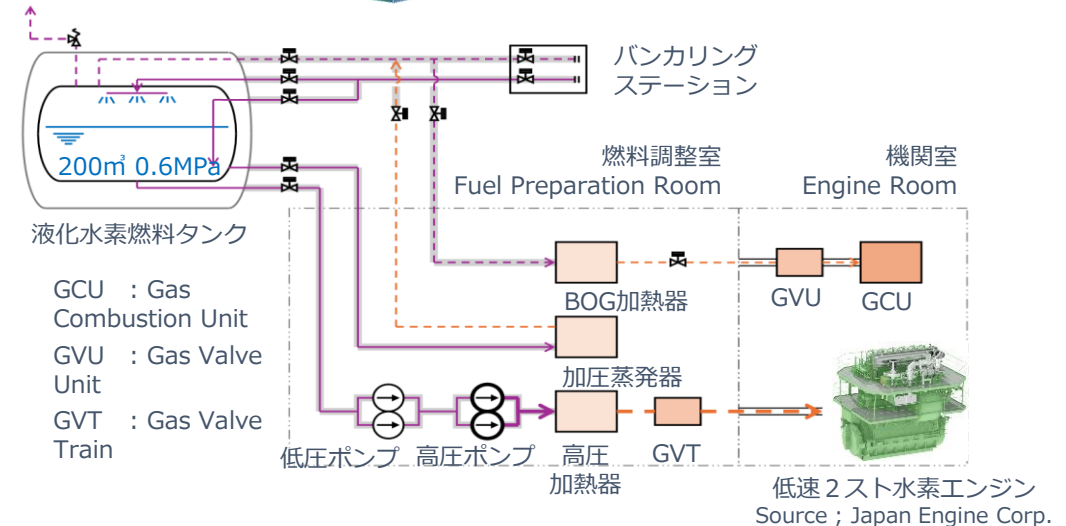
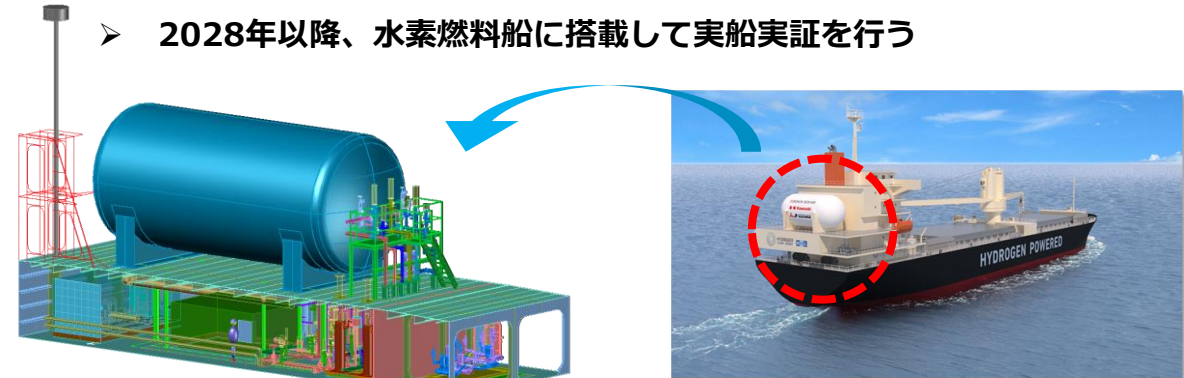
- 40-ft コンテナサイズにシステム一式をパッケージ化
(バンカリングステーションは別置き)
- 30 m³ の液化水素燃料タンクから、自己加圧による水素ガス供給
- 1 MPaG 未満の低圧（可変設定）、常温の供給条件に対応
- 2027年以降、内航貨物船の甲板上に搭載して実船実証を行う



【大型MHFS】

J-ENGが開発する低速 2 ストローク水素エンジン用の高圧MHFS。
詳細設計を進捗中。

- 機器類を機能・グループごとにユニット化して、船上の施工の容易化
- 船用・燃料供給用としては世界最大の200 m³の液化水素タンク
- 世界初の高圧水素エンジン用の30 MPa・水素燃料供給システム
- 2028年以降、水素燃料船に搭載して実船実証を行う



2. 研究開発マネジメントについて

- 水素燃料インフラの整備状況を踏まえ、中・高速補機関(外航船用)の2機種を市場投入
- 機関出力帯：500～2000kW
- 経営者のコミットメントの下、専門部署を中心として、中堅・若手で構成する担当チームにより、開発を推進中

[別途, GHG削減戦略室を企画部門内に設置し、水素エンジンの普及に向けた課題を整理して、分類ごとに対策を立案・実施中(知的財産戦略含)]

中速水素エンジン

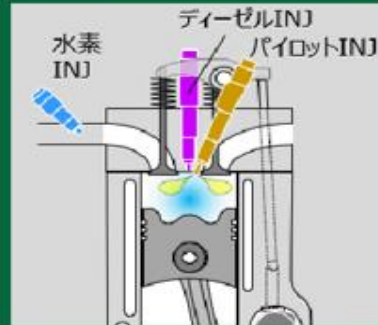
Medium-speed hydrogen engine

水素混焼/DF(二元燃料)

Hydrogen dual fuel combustion

出力：800kW

Output : 800 kW



高速水素エンジン

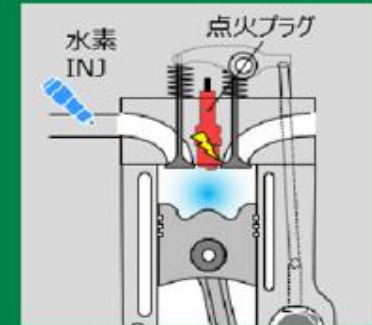
High-speed hydrogen engine

水素専焼

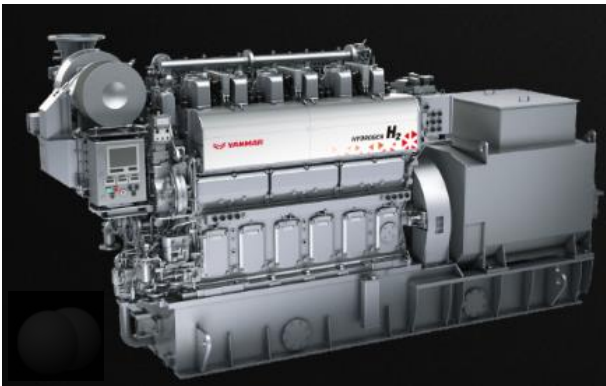
Hydrogen single fuel combustion

出力：1,400kW

Output : 1,400 kW



インフラ整備の初期段階：ディーゼル燃料油も使用可



- ・外航補機主流の出力帯
- ・高い燃料冗長性
- ・NOx3次規制: 自社製SCR◇適用
- ・実機(多気筒機)開発: FY2024～

インフラ整備進行



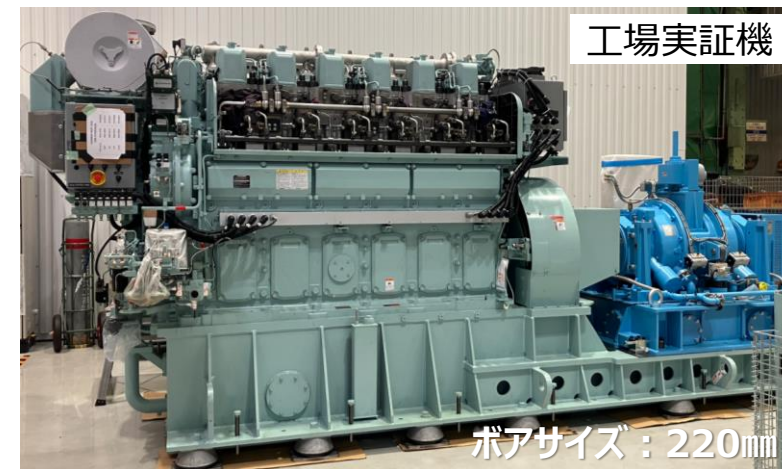
- ・コンパクトで高出力
- ・究極の脱炭素
- ・実機(多気筒機)開発: FY2027～

➤ FY2025：要素技術開発の成果を織込んだ中速DFエンジンの陸上実証試験をスタート

＜開発プロセス(全体)＞



上段:6EY22ALDF-H形エンジンの外観
下段:(右側) 直近における広報の取り組み



＜多気筒機での試験概要＞ (HyEng社共用ベンチにて)

- ◆ 単筒機での性能再現性検証
- ◆ 過給機マッチング
- ◆ 材料劣化評価

＜バリシップ2025でPR＞

カーボンニュートラル・ゼロエミッションに向けた
ヤンマーの新燃料対応技術



■ 水素4ストローク中速DFエンジンの外観

コンソーシアムである株式会社ジャパンエンジンコーポレーションの二重工場(共用ベンチ)にて、本年度夏頃の運転運転を予定。単気筒エンジンによる性能(目標達成率)の再現性確認から取り掛かってまいります。

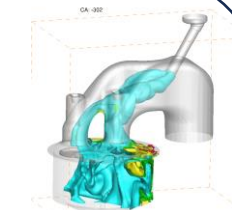


(2025年5月22～24日) 11

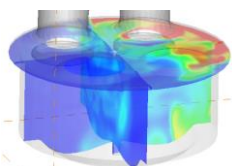
CFD※技術確立(済)

異常燃焼制御技術確立(済)

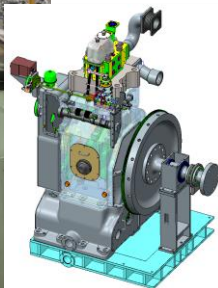
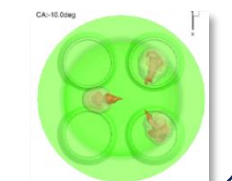
水素燃料
流れ



水素混合気
分布



水素燃焼

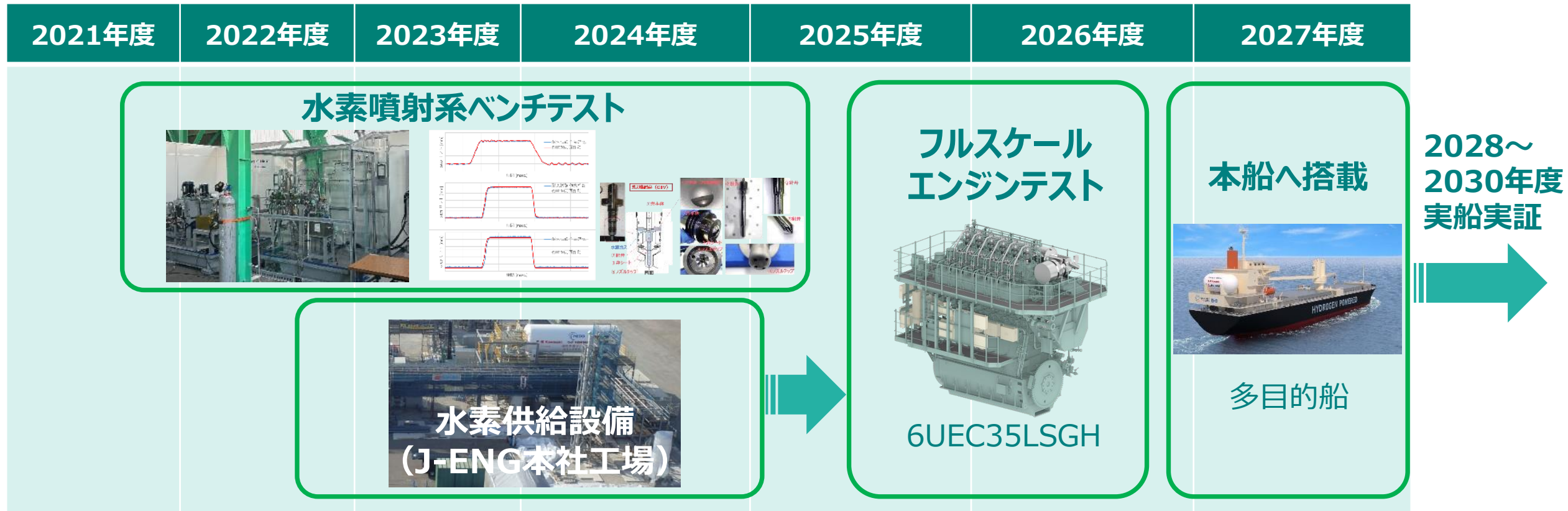


目標達成!!

● 開発目標

水素を燃料として使用する推進用低速2ストロークエンジン(出力5,000kW級主機)の開発し、実船実証にて安定運航を確認する。

● 開発スケジュール



3. 研究開発成果について

● 研究開発成果

【水素噴射系の開発】

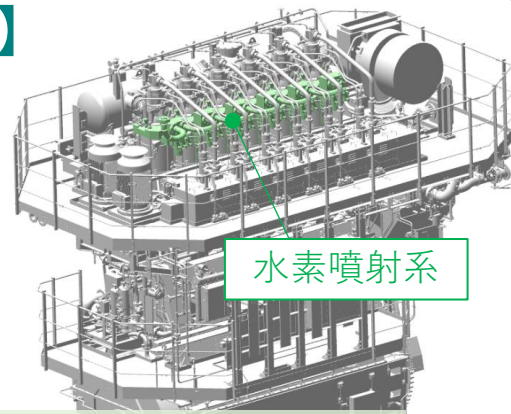
水素噴射系のベンチテストにて水素環境下での耐久試験を完了



水素噴射系の設計完了

【フルスケールエンジン開発】

キーコンポーネントである水素噴射系を含む各装置の設計完了



2026年度のフルスケールエンジンの陸上運転完了に向けて製造中

【実船実証計画】

2023年、リスク評価を実施し、区画配置コンセプトに関する基本設計承認(AiP)を取得済み



2028年度以降で予定している実船実証に向けて、水素燃料船の水素仕様部分の設計を推進中

● 成果の社外への発信

国内外の展示会や学会を通じて成果を広く発信中

<直近1年の実績>

- Sea Japan2024 (2024年4月)
- Posidonia2024 (2024年6月)
- SMM2024 (2024年9月)
- CIMAC Congress2025(2025年5月)
- バリシップ2025 (2025年5月)



4. 今後の見通しについて

当コンソーシアムは、HyEng社を通して、基礎燃焼解析や材料、船級規則対応などの共通技術要素で連携し、外航船向け舶用水素燃料エンジンの開発を推進しております。

水素燃料単筒エンジンや水素噴射単体装置による試験を完了し、本年度からは陸上実機実証試験フェーズへ移行しております。

展示会・学会等を通じたPR活動・営業活動を継続しています。

→ 水素燃料船のコンセプト設計船を提案へ（活動事例）

GHGゼロエミッションの達成が可能な舶用水素燃料エンジンの市場投入を図り、水素燃料船の普及拡大を通し、日本海事産業の活性化と持続可能な社会の実現を目指します。

4. 今後の見通しについて：水素普及へのアクション(抜粋)

- ・水素エンジン、MHFSの開発と並行して、HyEngの3社が造船所を巻き込み水素燃料船のコンセプト設計を実施中。
- ・水素燃料の使用において意義の高い船種に対し、造船所との共創にて、建造へ邁進する基本モデルを構築したい。

- ① 建造実績のある船種をピックアップ
- ② 水素燃料タンクのサイズ設定と船内配置を概略で検討(スクリーニング)
- ③ 競争力の高い船種をピックアップし、コンセプト設計を実施



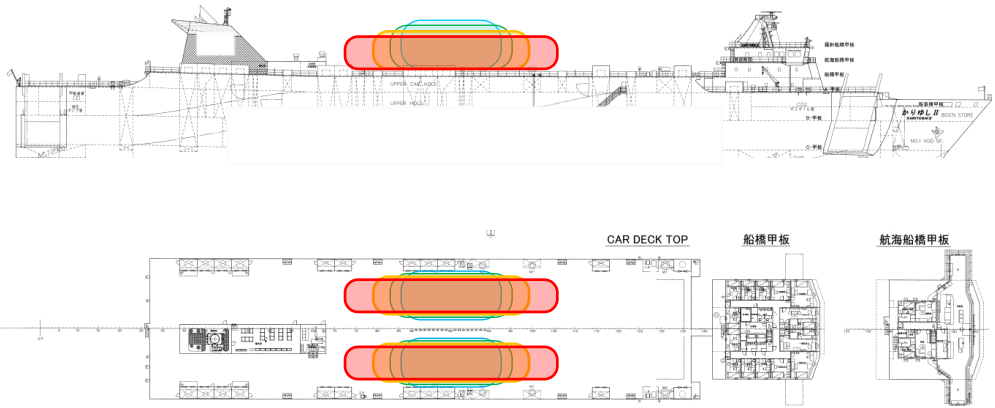
シナリオ検討パラメータ

- ・航続距離
- ・バンカリング頻度
- ・バイオ燃料との混焼 など



内航Ro-Ro船の例		
ベース船（重油燃料）		
主機・最大出力	kW	xx,xxx
発電機・出力	kW	3 x x,xxx
常用船速	knots	xx.x
重油燃費@通常航海	ton/day	xx.x
重油タンク（合計）	m ³ ton	xxx xxx
→航続距離・日数	NM day	x,xxx xx.x
水素燃料船		
液水燃料航続距離・日数	NM day	xxxx x
（例）博多～那覇	NM (round)	1,040
必要な液水燃料	ton	xx.x
液水タンク・内槽幾何容積	m ³	2 x xxx

■ 船体配置イメージ(初期計画の前段階)



タンク サイズ

- :D9m × L18.9m
- :D8m × L23.4m
- :D7m × L30.5m
- :D6m × L42.5m

スクリーニング事例 Ro/Ro船

重油タンク並みの液水タンクの航続距離	不可
液水タンクの容積・航続距離 (スクリーニング用)	2 x XXX m ³ 2,040 NM
最小目標とする航路	博多～那覇
片道	520 NM → ○
1 往復	1,040 NM → ○
最大目標とする航路	博多～台湾・高雄
片道	1,000 NM → ○
1 往復	2,000 NM → ○